六种阔叶树种叶片浸提液对云南松种子萌发生长的化感作用

毛祥忠[1]，唐绍荣[2]，杨斌[3]，赵宁[1,3*]

(1. 西南林业大学 生命科学学院，昆明 650224；2. 弥渡县林业有害生物防治检疫局，云南 大理 675600；3. 云南省森林灾害预警与控制重点实验室，西南林业大学，昆明 650224)

摘　要：为了筛选营建云南松抗虫混交林的树种，该研究观察了云南切梢小蠹非寄主植物川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎和山茶六种阔叶树种叶片不同浓度的水浸提液对云南松种子萌发及幼苗生长的化感作用。结果表明：川滇桤木、滇朴、麻栎和山茶四种阔叶树种叶片的浸提液对云南松种子萌发和幼苗生长表现出低浓度促进，高浓度抑制效应。在测试浓度范围内，樟树和缅桂叶片浸提液对云南松种子萌发和幼苗生长存在抑制作用。综上所述，六种阔叶树种对云南松的化感作用敏感性不同，低浓度范围内的川滇桤木、滇朴、麻栎和山茶树叶片水浸提液对云南松生长表现出促进作用，樟树和缅桂叶片水浸提液对云南松生长具有抑制作用。因此，结合营林技术，可选用川滇桤木、滇朴、麻栎等阔叶树种与云南松混交，营建云南松抗虫混交林。

关键词：浸提液，化感作用，云南松，种子萌发，幼苗生长

中图分类号：Q945　　　　　　　　　　**文献标识码**：A

Allelopathic effect of water extract from leaves of six different broad-leaved tree on germination and seedling growth of *Pinus yunanensis*

MAO Xiangzhong[1], TANG Shaorong[2], YANG Bin[3], ZHAO Ning[1,3*]

(1. *Yunnan Provincial Key Laboratory of Forest Biotechnology, Southwest Forestry University*, Kunming 650224, China; 2. *Midu County Bureau of Forestry Pest Control and Quarantine*, Dali 675600, Yunnan, China; 3. *Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University*, Kunming 650224, China)

Abstract: This study observed the allelopathic effects of different concentrations of water extracts from the leaves of six broad-leaved tree species on the seed germination and seedling growth of *Pinus yunnanensis*, which can be used as potential tree species for the construction of *Pinus yunnanensis* hybrid forest. The six broad-leaved tree species are *Alnus ferdinandi-coburgii*, *Quercus acutissima*, *Celtis kunmingensis*, *Cinnamomum cmphora*, *Michelia alba* and *Camellia japonica*. The results showed that extracts from the leaves of four broad-leaved tree species, namely *Alnus ferdinandi-coburgii*, *Quercus acutissima*, *Celtis kunmingensis* and *Camellia japonica* had promoting effects on seed germination and seedling growth of *pinus yunnanensis* when at low concentrations, but showed inhibitory effects on them at high concentrations. Inthe testedconcentrations, the extracts from leaves of *Michelia alba* and *Cinnamomum cmphorahad* exhibited inhibitory effects on seed germination and seedling growth of *pinus yunnanensis*. In conclusion, six species of broad-leaved trees reflected different sensitivities to allelopathic effects of *pinus yunnanensis*. At low concentration, water extracts from leaves of *Alnus ferdinandi-coburgii*, *Quercus acutissima*, *Celtis kunmingensis* and *Camellia japonica* had promoting effects on the growth of *pinus yunnanensis*, while water extracts from leaves of *Michelia alba* and *Cinnamomum cmphora* had inhibiting effects. Thus, in combination with silviculture techniques, *Alnus ferdinandi-coburgii*, *Quercus acutissima*, *Celtis kunmingensis* can be selected to construct *pinus yunnanensis* insect-resistant mixed forest .

Key Words: species extract, allelopathic effect, Yunnan pine, seed germination, seedling growth

云南松(*Pinus yunnanensis*)是我国云南、四川、西藏、广西等省(区)特有的树种，具有耐干旱，生态适应性广和天然更新能力强等特点(杨燕等，2009；陈飞等，2012)。云南松是云南省荒山造林的先锋树种，栽培面积占全省林

基金项目：国家自然科学基金（31760210）[Supported by the National Natural Science Foundation of China（31760210）]。

作者简介：毛祥忠（1993-），男，云南宣威人，硕士研究生，研究方向为植物保护学，(E-mail)915506357@qq.com。

*****通信作者**：赵宁，硕士，副教授，主要从事森林有害生物综合调控研究，(E-mail) lijiangzhn@163.com。

地面积的52%、占林地蓄积的32%，在维持云南生态安全中具有不可替代的作用(王磊等，2018)。云南松林多以纯林为主，由于种植面积广，树种单一，遭受了害虫的蛀食危害(柴守权等，2002；王大伟等，2013；刘凌等，2014)。其中云南切梢小蠹的危害性较大，每年大约造成7.5万 hm^2云南松活力木死亡(马学玉等，2016)。目前，针对该害虫的防治主要是人工清理蠹害木、化学农药防治、生物防治等(路荣春，2008)，但均不能有效控制小蠹虫的危害。李孟楼等(2005)研究表明营造混交林一定程度上能够抵御害虫的危害，岳锋(2011，2013)的研究表明混交林能够有效控制云南切梢小蠹的危害，周希伟(2012)通过生物测试，发现川滇桤木(*Alnus ferdinandi-coburgii*)、缅桂(*Michelia alba*)、滇朴(*Celtis kunmingensis*)、樟树(*Cinnamomum cmphora*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、山茶(*Camellia japonica*)等六个树种对云南切梢小蠹表现出趋避作用，可以用来营建云南松抗虫混交林。

抗虫混交林的营建是个复杂的体系，受树种选择、混交模式、混交比例、培育措施等多因素调控。其中树种选择是关键的一步，既要考虑造林的目的，还要考虑树种间的相互作用，特别是植物间的化感作用。植物的化感作用是植物自主产生并释放到环境中的化学物质，在自然界中广泛存在，其在控制农田杂草、病虫害防治、植被的恢复和混交林树种的选择上具有重要意义(Bais et al., 2003；李浩然等，2006；李啸宇等，2017；钱沉鱼等，2019)。国内外学者利用植物浸提液对种子萌发和幼苗生长的化感作用进行了大量的研究，结果表明，植物的化感作用对植物种子的萌发和幼苗生长具有"低促高抑效应"，且低浓度的促进作用强于高浓度的抑制作用(Young & Bush, 2009；郭晓燕等，2018；Puig et al., 2018)。针对云南松种子的萌发和幼苗生长化感作用的研究鲜有报道，朱霞等(2009)利用低浓度的水杨酸处理后能够提高种子的发芽率和促进幼苗的生长，曹子林(2012)研究表明紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)气态挥发物在高浓度时可以极显著降低云南松种子萌发和幼苗生长，随着浓度降低抑制作用减弱。关于营建混交林用的阔叶树种对云南松化感作用的研究未见报道，因此，本研究选取前期筛选出的能够抗云南切梢小蠹的非寄主植物川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎、山茶等六种阔叶树种叶片为材料，利用水提取液研究对云南松种子萌发、幼苗生长的影响，筛选出能够促进云南松种子萌发及生长的阔叶树种，为云南松抗虫混交林营建、改造选择树种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试阔叶树种川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎和山茶叶片采自西南林业大学树木园十年生树体。随机选取株高和胸径一致的树体，在相同高度用高枝剪剪下六种阔叶树的树枝，选取发育良好的叶片置于保温箱中，带回实验室；供试种子购自云南省林木种苗工作总站。

1.2 试验仪器

调温电热套、高压灭菌锅、旋转蒸发仪、人工气候箱。

1.3 试验方法

1.3.1阔叶树种叶片浸提液的制备

浸提液的制备参考张霖等(2015)的提取方法，将采集到的川滇桤木、缅桂、颠朴、樟树、麻栎、山茶等六种新鲜阔叶树叶片用自来水冲洗干净并用蒸馏水洗3 次，自然条件下晾干粉碎过60 目筛备用。分别称取供试阔叶树叶片100 g粉末加入圆底烧瓶中，按照1：3(质量体积比)比例加入蒸馏水浸泡48 h后真空抽滤，共计3 次，合并浸提液并定容至1 000 mL，得到质量浓度为0.1 g mL^{-1}的母液，量取浸提液母液分别稀释到质量浓度为0.02、0.04、0.06、0.08 g mL^{-1}，置于冰箱（4 ℃）中备用。

1.3.2 云南松种子预处理

挑取饱满、大小均匀的云南松种子用 0.5%$KMnO_4$ 溶液消毒 10 min，并用无菌蒸馏水冲洗 3 次，用无菌蒸馏水浸种 4 h 后备用。

1.3.3 六种阔叶树种叶片浸提液对云南松种子萌发的影响

选取直径为 12 cm 的培养皿，在培养皿中放两层滤纸，分别均匀的放入处理过的 50 粒种子，依次加入不同种类、不同浓度的植物浸提液 6 mL，每个处理设 3 个重复，对照组以无菌蒸馏水处理。置于人工气候箱（发芽条件为空气相对湿度 75%，温度 25 ℃，每天光照 12 h）中培养，每隔 3 天分别向培养皿中加入 2 mL 无菌蒸馏水或浸提液，置床当天为第 1 天，每天观察并固定时间记录种子萌发情况，第 15 天计算发芽势，21 天结束发芽实验并计算发芽率。

1.3.4 六种阔叶树种浸提液对云南松幼苗生长的影响

选择颗粒饱满且大小一致的云南松种子进行催芽处理，待种子露白后采用盆栽法测定六种阔叶树种浸提液对云南松种子幼苗生长的影响(李轲和杨柳，2019)，每盆栽植5 株(花盆大小为44 cm×29 cm)，基质为灭过菌的蛭石，分别向花盆中加入不同浓度的浸提液20 mL，蒸馏水作为对照，每个处理设置3 个重复，将花盆置于人工气候箱中培

养，以后每隔3 天定时补充水浸提液或蒸馏水15 mL，28 天后测定云南松种子的苗高和生物量。

1.4 数据处理

参照申时才(2017)方法计算种子萌发指标，发芽势(*GE*)=(第 15 天正常发芽的种子数/供试种子总数)×100％；发芽率(*GP*)=已发种子总数/供试种子×100%。用化感效应指数(*RI*)表示化感的强度，其中 RI=1-C/T，当 $T≥C$ ，RI = T/C-1，当 $T<C$ ，C 为对照实验组数值，T 为处理实验组数值。$RI>0$ 为促进作用，$RI<0$ 为抑制作用，绝对值表示化感效应强度的大小。利用 SPSS19.0 软件对实验数据进行统计分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 六种阔叶树种浸提液对云南松种子萌发的影响

由表 1 和表 2 可知，不同浓度的川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎和山茶等六种阔叶树种的浸提液均能影响云南松种子的发芽率和发芽势，随着浸提液浓度的升高，云南松种子的发芽率和发芽势均呈下降趋势。当浓度为 0.02 g mL^{-1}时，川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶四种阔叶树种的浸提液对云南松发芽率和发芽势的化感指数 *RI* 均为正值，说明四种阔叶树种对云南松种子的萌发有促进作用，其中滇朴浸提液处理过的云南松种子的发芽率和发芽势最高，分别为 95.70%和 90.30%，比对照组提高了 12.06%和 14.02%；但在测试的浓度范围内樟树和缅桂的浸提液对云南松种子的发芽率和发芽势均具有抑制作用。当浓度达到 0.10 g mL^{-1}时，各处理组的发芽率和发芽势均极显著小于对照组($P<0.01$)，表明川滇桤木、麻栎、滇朴、山茶、樟树和缅桂浸提液对云南松种子萌发具有一定程度的抑制作用。

2.2 六种阔叶树种浸提液对云南松幼苗生长的影响

表3结果显示，在浓度为0.02和0.04 g mL^{-1}时，川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶四种阔叶树种的浸提液对云南松幼苗的生长具有促进作用，樟树和缅桂两种阔叶树种的浸提液对云南松幼苗的生长具有抑制作用；当浸提液浓度为0.06～0.10 g mL^{-1}时，六种阔叶树种处理过的云南松幼苗的苗高化感指数均为负值，且随着浸提液浓度的增加化感指数*RI*的绝对值也在不断增大，说明随着浸提液浓度的增加六种阔叶树种对云南松幼苗的生长抑制作用逐渐增强；由表3可知，在最低浓度0.02 g mL^{-1}时，测试的六种阔叶树种中滇朴对云南松幼苗生长的促进作用最强，处理组幼苗的苗高比对照组增加了1.60 cm。

2.3 六种阔叶树种浸提液对云南松幼苗生物量的影响

由表 4 可以看出，樟树和缅桂两种阔叶树种叶片的浸提液在测试浓度范围内分别对云南松幼苗生物量的增长均表现出抑制作用，随着浓度的上升，抑制作用均呈现出增大的趋势，当浓度为 0.02 g mL^{-1}时，川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶四种阔叶树种的浸提液对云南松种子的幼苗生物量增长具有促进作用，当浓度超过 0.06 g mL^{-1}时，四种阔叶树种浸提液对云南幼苗的生物量的增长由促进作用转化为抑制作用，当浸提液浓度达到 0.10 g mL^{-1}时，六种阔叶树种处理过的对云南松幼苗生物量均极显著小于对照组($P<0.01$)，说明六种阔叶树种对云南松幼苗生物量增长表现出抑制作用。

表 1　六种阔叶树种不同浓度浸提液对云南松种子发芽率的影响

Table 1 Effects of different concentrations of six different broad-leaved trees on the germination rate of *Pinus yunnanensis* seeds

水提液浓度 Water extract concentration （g mL^{-1}）	川滇桤木 *Alnus ferdinandi-coburgii* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	麻栎 *Quercus acutissima* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	滇朴 *Celtis yunnanensus* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	樟树 *Cinnamomum cmphora* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	缅桂 *Michelia alba* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	山茶 *Camellia japonica* 发芽率 Germination rate (%)	*RI*	CK 发芽率 Germination rate (%)	*RI*
0.02	(90.1±2.31)bcdAB	0.05	(87.8±3.53)bcAB	0.03	(95.7±1.16)aA	0.11	(83.2±1.86)cdB	-0.03	(83.1±1.73)dB	-0.03	(92.3±1.73)bcAB	0.07	(85.4±1.51)bcB	0.00
0.04	(87.6±2.33)aA	0.03	(75.2±2.89)deCD	-0.12	(81.4±2.08)cABC	-0.05	(78.6±0.89)cdBC	-0.08	(70.3±3.22)eD	-0.18	(86.5±2.08)abA	0.01	(85.4±1.51)abAB	0.00
0.06	(72.4±2.08)bB	-0.15	(51.3±3.21)cC	-0.40	(78.5±3.06)bBC	-0.08	(59.1±1.53)dD	-0.31	(55.9±2.0)cC	-0.35	(84.3±2.08)aA	-0.01	（85.4±1.51)aA	0.00
0.08	(68.5±2.04)cC	-0.20	(50.6±2.04)eE	-0.41	(76.8±1.16)bB	-0.10	(52.5±3.46)cC	-0.39	(38.2±1.53)fF	-0.55	(75.6±1.16)bB	-0.11	（85.4±1.51)aA	0.00
0.10	(64.3±2.08)cC	-0.25	（50.1±1.73）deD	-0.42	(72.7±3.18)bB	-0.15	(45.6±1.53)eD	-0.47	(35.3±3.06)fE	-0.59	(52.2±2.01)dD	-0.39	（85.4±1.51)aA	0.00

注：表中数据为平均值±标准误，表中同行不同小写字母表示与对照组的差异显著（*P*＜0.05），同行不同大写字母表示与对照组差异极显著（*P*＜0.01）。下同。

Note: The data in the table are mean ±standard deviation, and followed by different small letters in the same row mean significant differences from control group (*P*＜0.05),while followed by different capital letters in the same row mean extremely significant differences from control group (*P*＜0.01). The same below.

表 2　六种阔叶树种不同浓度浸提液对云南松种子发芽势的影响

Table2 Effects of extracts from different concentrations of six different broad-leaved trees on germination potential of *Pinus yunnanensis* seeds

水提液浓度 Water extract concentration （g mL^{-1}）	川滇桤木 *Alnus ferdinandi-coburgii* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	麻栎 *Quercus acutissima* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	滇朴 *Celtis yunnanensus* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	樟树 *Cinnamomum cmphora* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	缅桂 *Michelia alba* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	山茶 *Camellia japonica* 发芽势 Germination potential (%)	*RI*	CK 发芽势 Germination potential (%)	*RI*
0.02	(82.3±1.53)cdBCD	0.04	(80.5±2.08)bcdB	0.02	(90.3±1.00)aA	0.12	(78.6±2.08)cdBC	-0.01	(74.4±3.51)dC	-0.06	(85.1±1.73)bcAB	0.07	(79.2±1.73)aA	0.00
0.04	(80.1±1.16)aA	0.01	(70.4±0.56)cCD	-0.11	(78.5±0.57)aAB	-0.01	(73.2±1.73)bcBC	-0.08	(65.8±1.66)dD	-0.17	(76.5±0.58)abAB	-0.03	(79.2±1.73)aA	0.00
0.06	(61.4±1.72)cB	-0.22	(49.3±2.08)dC	-0.38	(73.6±1.48)bA	-0.07	(49.6±0.58)dC	-0.37	(50.6±2.31)dC	-0.36	(75.8±1.16)abA	-0.04	(79.2±1.73)aA	0.00
0.08	(58.8±2.08)cB	-0.26	(47.5±2.52)dC	-0.40	(71.4±2.08)bA	-0.10	(41.5±2.65)dC	-0.48	(30.5±2.08)eD	-0.61	(70.7±1.15)bA	-0.11	(79.2±1.73)aA	0.00
0.10	(52.3±1.53)cC	-0.34	(42.7±0.58)dD	-0.46	(70.1±1.16)bB	-0.11	(40.3±1.73)dD	-0.49	(29.2±1.00)eE	-0.63	(49.5±2.00)cC	-0.38	(79.2±1.73)aA	0.00

表 3　六种阔叶树种不同浓度浸提液对云南松幼苗生长的影响

Table 3 Effects of different concentrations of six different broad-leaved trees on the growth of *Pinus yunnanensis* seedling

水提液浓度 Water extract concentration（g mL[-1]）	川滇桤木 *Alnus ferdinandi-coburgii*		麻栎 *Quercus acutissima*		滇朴 *Celtis yunnanensus*		樟树 *Cinnamomum cmphora*		缅桂 *Michelia alba*		山茶 *Camellia japonica*		CK	
	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*	苗高 Seedling height (cm)	*RI*
0.02	(8.6±0.17)bAB	0.10	(8.5±0.35)bABC	0.09	(9.3±0.12)aA	0.17	(7.1±0.14)cD	-0.08	(7.3±0.23)cD	-0.05	(8.3±0.26)bBC	0.07	(7.7±0.15)cCD	0.00
0.04	(8.3±0.25)aAB	0.07	(8.4±0.12)aA	0.08	(7.8±0.56)abABC	0.01	(6.6±0.26)cC	-0.14	(6.8±0.31)cC	-0.12	(8.1±0.15)aAB	0.05	(7.7±0.15)abABC	0.00
0.06	(6.2 ±0.21)cB	-0.20	(7.2±0.15)bA	-0.06	(7.4±0.19)abA	-0.04	(5.3±0.17)dcC	-0.31	(6.3±0.26)cB	-0.18	(7.6±0.23)aAB	-0.01	(7.7±0.15)abA	0.00
0.08	(5.9±0.15)cCD	-0.23	(6.1±0.21)cB	-0.21	(7.1±0.25)bA	-0.08	(5.1±0.23)dD	-0.34	(5.5±0.29)cdCD	-0.29	(7.3±0.11)abA	-0.05	(7.7±0.15)abA	0.00
0.10	(5.5±0.29)cB	-0.29	(5.9±0.14)bcB	-0.23	(6.3±0.15)bB	-0.18	(4.5±0.21)dC	-0.42	(3.9±0.15)eC	-0.49	(4.7±0.20)dC	-0.39	(7.7±0.15)aA	0.00

表 4　六种阔叶树种不同浓度浸提液对云南松幼苗鲜重的影响

Table 4 Effects of extracts from different concentrations of six different broad-leaved trees on fresh weight of *Pinus yunnanensis* seeding

水提液浓度 Water extract concentration（g mL[-1]）	川滇桤木 *Alnus ferdinandi-coburgii*		麻栎 *Quercus acutissima*		滇朴 *Celtis yunnanensus*		樟树 *Cinnamomum cmphora*		缅桂 *Michelia alba*		山茶 *Camellia japonica*		CK	
	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*	鲜重 Fresh weight (g)	*RI*
0.02	(7.1±0.31)abAB	0.21	(6.6±0.20)bcABC	0.15	(7.7±0.44)aA	0.27	(4.8±0.10)dD	-0.14	(4.9±0.16)dD	-0.14	(6.3±0.10)abAB	0.11	(5.6±0.34)cdCD	0.00
0.04	(6.0±0.15)bcAB	0.07	(5.1±0.19)dCD	-0.09	(6.7±0.24)aA	0.16	(4.1±0.13)eE	-0.27	(4.3±0.35)eDE	-0.27	(6.2±0.53)bcBCD	0.10	(5.6±0.34)cdBC	0.00
0.06	(4.6±0.10)cdBC	-0.18	(4.4±0.38)cdCD	-0.18	(5.5±0.25)abAB	-0.02	(4.0±0.29)deCD	-0.29	(3.6±0.21)eD	-0.36	(4.9±0.27)bcABC	-0.13	(5.6±0.34)aA	0.00
0.08	(3.9±0.35）bcdBC	-0.30	(3.8±0.15)bBC	-0.32	(4.5±0.14)bB	-0.20	(3.2±0.31)deCD	-0.43	（3.1±0.21）dC	-0.45	(4.0±0.23)bcBC	-0.29	(5.6±0.34)aA	0.00
0.10	(3.5±0.13)cdBC	-0.38	(3.7±0.12)cdBCD	-0.34	(4.1±0.37）bB	-0.27	(2.7±0.10)eD	-0.52	(2.1±0.26)eD	-0.63	(2.6±0.12)eD	-0.54	(5.6±0.34)aA	0.00

3 讨论与结论

在自然界中，化感物质通过雨水淋刷和雾滴等途径淋溶进入土壤环境对其他植株产生化感作用，抑制或促进临近植株种子的萌发和生长(Shen et al., 2018；Young & Bush, 2009；杨期和等，2000)。现有的研究表明，化感物质浓度较低可以促进植物种子的萌发和生长，但当化感物质不断积累到一定浓度或超过临界浓度时植物生长受到抑制(陈锋等，2107；Alam et al., 2004)，说明化感作用在森林群落演替中具有调控作用。因此，在营造混交林时需要考虑不同树种间的化感作用的影响。本研究结果表明，六种阔叶树种的浸提液对云南松种子的萌发和幼苗生长有促进或抑制作用。在浓度较低的时候，川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶四种阔叶树种浸提液对云南松种子的发芽萌发和幼苗生长有促进作用，随着浓度的增大，四种阔叶树种对云南松种子的萌发和幼苗生长由促进作用转化为抑制作用，这可能是川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶四种阔叶树种浸提液低浓度时促进了受体植物细胞通透性，提高了营养元素和水分的吸收，增强了植物生长激素的表达，浓度升高后受体植物细胞分离受到抑制，甚至引起细胞凋亡，从而造成植株生长缓慢；但樟树和缅桂两种阔叶树种浸提液在测试浓度范围内对云南松种子的萌发和幼苗的生长均表现出抑制作用，这是因为不同树种化感物质成分差异较大，受体植物对化感物质的耐受机制不同，这两种阔叶树种的化感物质抑制了云南松细胞分离和通透性，影响了营养元素和水分的吸收，影响植物光合作用进行，从而造成植株生长受到抑制，这种现象与杨珊(2020)和刘济明(2019)等的研究结果一致。因此在实际林业生产中，川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶树种与云南松混交初期，这四个树种分泌到自然环境中的化感物质浓度低能够促进云南松的种子萌发和生长，但随着植株的生长，种群密度变大，化感物质不断积累并超过临界浓度时抑制云南松的种子萌发和生长，在经营抚育管理期间，应适当控制川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶的种群密度和及时清除落叶，促进云南松的天然更新和健康生长。

抗虫混交林树种的选择除了需要考虑抗虫效果，还需要考虑树种之间的化感效应。周希伟（2012）通过研究筛选出川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎和山茶等六个阔叶树种对云南切梢小蠹具有趋避作用，可以作为抗虫混交林树种，但并未对树种间的化感作用进行研究。植物的化感作用是一个复杂过程，受多种因数的影响，如受体的种类，雨水量、温度和受体体内转化途径有关，它可以直接或间接影响周围植物的种子萌发和幼苗生长(阎飞等，2000；Anaya, 1999；陈淑芳，2009)。本研究采用水浸提法研究六种阔叶树种对云南松种子萌发和幼苗生长的化感作用，筛选出了对云南松生长具有促进作用的树种川滇桤木、麻栎、滇朴和山茶。目的是为了快速筛选混交林营建树种，为抗云南切梢小蠹混交林营建和蠹害林改造提供了理论依据，且这些阔叶树种种类都是前期野外调查的基础上筛选出来的，结果并不能完全说明测试的六种阔叶树种对云南松的化感作用，若要进一步研究六种阔叶树种对云南松的化感作用，需要采集川滇桤木、缅桂、滇朴、樟树、麻栎和山茶六种阔叶树种根际和群落土壤，实验这些土壤是否能对云南松种子萌发和幼苗生长产生影响。

参考文献:

ANAYA AL, 1999. Allelopathy as atool in the management of biotic resources in agroecosystems[J]. Crit Rev Plant Sci, 18(6): 697-739.

ALAM SM, KHAN M, MUJTABA SM, 2004. Influence of common purs-lane aqueous extracts on germination and seedling growth of rice[J]. Pakistan Sci Ind Res, 47(4): 298-302.

BAIS HP, VEPACHEDU R, GILROY S, et al., 2003. Allelopathy and exotic plant invasion:from molecules and genes to species interactions[J]. Science, 301(5638): 1377-1380.

CAO ZL, WANG XL, YANG GY, et al, 2012. Allelopathic effect of volatiles of *Eupatorium adenophorum* on seed germination and seedling growth of *Pinus Yunanensis*[J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 34(1): 77-81. [曹子林, 王晓丽, 杨桂英, 等, 2012. 紫茎泽兰气态挥发物对云南松种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 江西农业大学学报, 34(1): 77-81.]

CHEN F, MENG Y, SHUAI HW, et al, 2017. Effect of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance[J]. Chin J Eco-Agric, 25(1): 36-46. [陈锋，孟永杰，帅海威，等, 2017．植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]．中国生态农业学报, 25(1): 36-46.]

CHEN SF, 2009. Discussion on influencing factors of plant allelopathy[J]. Chin Agric Sci Bull, 25(23): 258-261. [陈淑芳, 2009．植物化感作用影响因素的探讨[J]．中国农学通报, 25(23): 258-261.]

CHEN F, WANG JM, SUN BG, et al., 2012. Relationships of plant species distribution in different strata of *Pinus yunnanensis* forest with landform and climatic factors[J]. Chin J Ecol, 31(5): 1070-1076. [陈飞，王健敏，孙宝刚，等, 2012．云南松林不同层植物分布与地形､气候因子的关系[J]．生态学杂志, 31(5): 1070-1076.]

CHAI SQ, XU GL, XIE KL, et al., 2002. Forecast of occurrence stage and harm extent of *Dendrolimus houi*[J]. J NW For Univ, 17(2): 54-57. [柴守权，许国莲，谢开立，等, 2002．云南松毛虫发生期与危害程度预测预报研究[J]．西北林学院学报, 17(2):54-57.]

FENG XY, LU J, YE H, 2016. On the population phylogeny of *Tomicus yunnanesis* based on mitochondrial COI gene[J]. J Yunnan Univ Natl, 25(5): 398-405. [马学玉，吕军，叶辉, 2016．基于线粒体 COI 基因对云南切梢小蠹地理种群遗传结构研究[J]．云南民族大学学报, 25(5): 398-405.]

GAO YF, ZHANG Y, ZHANG Z, et al., 2012. Shoot feeding behaviour of *Tomicus yunnanensis* on *Pinus yunnanensis* trees[J]. J NW For Univ, 27(6): 97-100. [高艳飞，张英，张真，等, 2012.切梢小蠹蛀食云南松枝梢行为研究[J]．西北林学院学报, 27(6):97-100.]

GUO XY, WEN T, ZHANG LU, et al., 2018. Allelopathy and chemical composition of decomposing products from leaf litter of *Toona ciliata* var. *pubescens*[J]. Sci Silv Sin, 54(6): 24-32.[郭晓燕，温婷，张露等, 2018. 毛红椿落叶腐解物的化感作用及成分[J]．林业科学, 54(6):24-32.]

LI K, YANG L, 2019. Allelopathic effects of aqueous extracts from rhizosphere soil of *Robinia pseudoacacia* Linn .on seed germination and seedling growth of five kinds of common garden plants[J]. Seed, 38(6): 115-120. [李轲，杨柳, 2019．刺槐根际土壤水浸提液对 5 种常见园林植物种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]．种子, 38(6): 115-120.]

LI HR, ZE SZ, LIU HP, et al., 2006. Allelopathy and its application in forset management[J]. J W Chin For Sci, 35 (1): 125－128. [李浩然，泽桑梓，刘宏屏，等, 2006．植物的化感作用及其在林业经营中的运用[J]．西部林业科学, 35(1): 125－128.]

LI SY, LIANG ZY, BIAN XJ, et al., 2017. Allelopathy of forest trees and application[J]. Mol Plant Breed, 15 (11): 384-390. [李啸宇，梁中银，边秀举，等, 2017．树木化感效应及应用[J]．分子植物育种, 15(11): 384-390.]

LI KF, DING GJ, LUO X M, 2019. Allelopathy of rhizosphere soil extract of *Pinus massoniana* on seed germination and seedling growth[J]. Seed, 38(7): 6-11. [李快芬，丁贵杰，罗晓蔓, 2019．马尾松根际土壤浸提液对种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]．种子, 38(7): 6-11.]

LIU L, YAN DQ, QI RP, et al., 2014. Spatial distribution characteristics and theoretical sampling of *Cephalica chuxiongnica* larvae on overburden in *Pinus yunnanensis* forest[J]. J Nanjing For Univ, 38(4): 97-101. [刘凌,闫大琦，祁荣频，等, 2014．云南松楚雄腮扁叶蜂幼虫在表土层的空间分布特点及理论抽样数[J]．南京林业大学学报, 38(4): 97-101.]

LIU JM, CHEN JZ, SUN YG, et al., 2019. Allelopathic effects of aqueous extract of *Ageratina adenophora* on seven native plant seedlings in growthand chlorophyll [J]. Guihaia, 39(1) : 79-86．[刘济明，陈敬忠，孙运刚，等, 2019．紫茎泽兰叶水提液对七种乡土植物幼苗生长和叶绿素的化感影响[J]．广西植物, 39(1) : 79-86.]

LU J, ZHAO T, YE H, 2014. The shoot-feeding ecology of three *Tomicus species* in Yunnan Province, southwestern China[J]. J Insect Sci, 14(37): 110–112.

LU RC, 2008. Study on the ecology of *Tomicus yunnanensis* and *Tomicus minor* (Coleoptera: Scolytidae)and their kairomones[D]. Beijing: Beijing Forestry University:1-57. [路荣春, 2008. 云南纵坑切梢小蠹和横坑切梢小蠹生态学的研究及其有效引诱物质的探索[D]. 北京: 北京林业大学:1-57.]

LI ML, GUO XR, ZHUANG SH, et al., 2005. Study on diversity of mixed forest and its pest resistance for *Anoplophora glabripennis* (Motschlsky) [J]. Sci Silv Sin, 41(1): 158-164. [李孟楼, 郭新荣, 庄世宏, 等, 2005. 混交林的多样性及其光肩星天牛的抗性研究[J]. 林业科学, 41(1):158-164.]

PUIG CG, GONCALVES RF, VALENTAO P, et al., 2018. The Consistency between phytotoxic effects and the dynamics of allelochemicals release from eucalyptus globulus leaves used as bioherbicide green manure[J]. J Chem Ecol, 44(7-8):658–670.

QIAN CY, TANG FH, LI CC, et al., 2019. Review on allelopathic effect of forest trees[J]. J NW For Univ, 34(3): 79-85. [钱沉鱼, 唐凤华, 李朝婵, 等, 2019. 林木化感物质研究进展[J]. 西北林学院学报, 34(3): 79-85.]

SHENG SC, XU GF, ZHANG FD, et al., 2017. Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds[J]. Acta Ecol Sin, 37(6): 1931-1938. [申时才, 徐高峰, 张付斗, 等, 2017. 红薯叶片浸提液对 5 种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 生态学报, 37(6): 1931-1938.]

SHEN S, XU G, LI D, et al., 2018. Allelopathic effects of three sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas*) on the invasive plant *Mikania micrantha*[J]. Pakistan J Biol Sci, 21(1): 8-15.

WANG L, ZHANG JF, MA JZ, et al., 2018. Research progress on *Pinus yunnanensis* with degradation status and ecosystem functions of the forest standst[J]. J W Chin For Sci, 47(6): 125-134. [王磊, 张劲峰, 马建忠, 等, 2018. 云南松及其林分退化现状与生态系统功能研究进展[J]. 西部林业科学, 47(6): 125-134.]

WANG DW, ZHAO N, ZE SZ, et al., 2013. Interruption of host-location behavior in the Yunnan pine shoot beetle, *Tomicus yunnanesis* (Coleoptera: Scolytidae), with three green leaf volatiles[J]. Acta Entomol Sin, 56(5): 570-574. [王大伟, 赵宁, 泽桑梓, 等, 2013. 三种绿叶挥发性物质对云南切梢小蠹寄主定位行为的干扰作用[J]. 昆虫学报, 56(5): 570-574.]

YAN F, YANG ZM, HAN L M, et al., 2000. Review on research methods for alelopathy and allelochemicals in plants[J]. Acta Ecol Sin, 20(4): 692-696. [阎飞, 杨振明, 韩丽梅, 等, 2000. 植物化感作用及其作用物的研究方法[J]. 生态学报, 20(4): 692-696.]

YANG S, LIU Q, WANG BY, et al., 2020. Allelopathic effects of exotic mangrove plant *Laguncularia racemosa* on native species *Aegiceras corniculatum* and *Rhizophora apiculata*[J]. Guihaia, 40(3) : 356-366. [杨珊, 刘强, 王炳宇, 等, 2020. 外来红树植物拉关木对乡土种桐花树和正红树的化感作用研究［J］. 广西植物, 40(3) : 356-366.]

YANG CJ, ZHANG JX, HUANG X, 2018. Allelopathy of *Picea asperata* to seed germination of four common garden configuration plants[J]. J Gansu Agric Univ, 53(2): 103-107. [杨传杰, 张君霞, 黄鑫, 2018. 粗枝云杉对 4 种常见园林配置植物种子萌发的化感作用[J]. 甘肃农业大学学报, 53(2): 103-107.]

YANG Y, YANG MF, YANG ZH, et al., 2009. Chemical constituents of volatile from pine needles of *Pinus yunnanensis*[J]. Sci Silv Sin, 45(5): 173-177. [杨燕, 杨茂发, 杨再华, 等, 2009. 云南松松针的挥发性化学成分[J]. 林业科学, 45(5): 173-177.]

YUE F, FENG D, ZHOU X W, et al., 2011. Study of pest resistance on mixed forest to *Tomicus piniperda*[J]. Guangdong Agric Sci, 38(1): 85-86. [岳锋, 冯丹, 周希伟, 等, 2011. 混交林对云南松纵坑切梢小蠹的抗虫性研究[J]. 广东农业科学, 38(1):85-86.]

YUE F, YANG B, ZHOU QH, 2013. Effects of 2 kinds of non-hosts essential oil on olfactory behavior of *Tomicus yunnanensis*[J]. SW Chin J Agric Sci, 26(3): 1050-1053. [岳锋, 杨斌, 周庆宏, 2013. 2 种非寄主挥发性成分对云南切梢小蠹嗅觉行为的影响[J]. 西南农业学报, 26(3): 1050-1053.]

YOUNG GP, BUSH JK, 2009. Assessment of the allelopathic potential of *Juniperus asheion* germination and growth of *Bouteloua curtipendula*[J]. J Chem Ecol, 35(1): 74-80.

YANG QH, YE WH, LIAO FL, et al., 2005. Effects of allelochemicals on seed germination[J]. Chin J Ecol, 24(12): 87-93. [杨期和，叶万辉，廖富林，等, 2005. 植物化感物质对种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 24(12): 87-93.]

ZHANG L, 2015. Allelopathic effects of aqueous extracts of *Picea crassifolia* on different organs on seed germination and seedling growth of *Pinus tabuliformis*[J]. J NW For Univ, 30(6): 22-27. [张霖, 2015. 青海云杉不同器官水提物对油松种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 西北林学院学报, 30(6): 22-27.]

ZHOU XW, ZHAO N, ZE SZ, et al., 2012. Study on seeking behavior of *Tomicus yunnanensis* to leaves of *Pinus yunnanensis* and some other non-host tree species[J]. J W Chin For Sci, 41(3): 93-97. [周希伟，赵宁，泽桑梓，等, 2012. 云南切梢小蠹对云南松及 20 个非寄主树种叶的趋向行为研究[J]. 西部林业科学 41(3): 93-97.]

ZHU X, WANG XL, CHEN S, 2009. Effects of soaking with salicylic acid on seeds germination and seedlings growth of *Pinus yunnanensis*[J]. J Shandong For Sci Technol, (4):15-17.[朱霞，王晓丽，陈诗, 2009. 水杨酸对云南松种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山东林业科技, (4):15-17.]